

УДК 691.714:620.169.1

Условия рационального проектирования защиты от коррозии металлоконструкций по критериям коррозионной опасности

¹Королёв В.П., д.т.н., ¹Магунова Н.Г., ²Годун Т.Н., ³Скрипченко О.Е.

¹Донбасский центр технологической безопасности ООО «Украинский институт стальных конструкций имени В.Н. Шимановского», Украина

²ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», Украина

³Мариупольское комплексное отделение ООО «Украинский институт стальных конструкций имени В.Н. Шимановского», Украина

Анотація. Виконано аналіз сучасних нормативних положень, що встановлюють вимоги до проектування і менеджменту системи протикорозійного захисту конструкцій (СПЗК). Розглянуто умови, необхідні при розрахунковому визначенні та оцінці відповідності термінів служби металевих конструкцій та їхніх захисних покриттів на основі методу граничних станів. Обґрунтовано критерії відмов – вичерпання захисних властивостей покриттів, категорії відповідальності і розрахункові моделі забезпечення надійності СПЗК. Представлено порядок виконання розрахунково-вимірального контролю та статистичного обґрунтування технічних характеристик корозійної стійкості і довговічності при підтвердженні відповідності проектних вимог протикорозійного захисту металлоконструкцій. Основним результатом теоретичних і експериментальних досліджень є розробка розрахунково-вимірального методу оцінки відповідності проектних вимог СПЗК при експлуатації будівельних об'єктів

Аннотация. Выполнен анализ современных нормативных положений, устанавливающих требования к проектированию и менеджменту системы противокоррозионной защиты конструкций (СПЗК). Рассмотрены условия необходимые при расчетном определении и оценке соответствия сроков службы металлических конструкций и их защитных покрытий на основе метода предельных состояний. Обоснованы критерии отказов – исчерпания защитных свойств покрытий, категории ответственности и расчетные модели обеспечения надежности СПЗК. Представлен порядок выполнения расчетно-измерительного контроля и статистического обоснования технических характеристик коррозионной стойкости и долговечности при подтверждении соответствия проектных требований противокоррозионной защиты металлоконструкций. Основным результатом теоретических и экспериментальных исследований является разработка расчетно-измерительного метода оценки соответствия проектных требований СПЗК при эксплуатации строительных объектов.

Abstract. The current regulations have been analyzed, which determined requirements for design and management of system for corrosion protection of structural steel (SCPSS). Conditions have been considered, which are necessary for determining and estimating the conformity of metal structure service life and their protective coatings based on the limit state method. The failure criteria due to exhaustion of the coating protective properties, criticality categories and design models of assurance of SCPSS reliability have been justified. The order is provided of carrying out the computational and measurement inspection and statistical justification of corrosion resistance and durability specifications when assessing conformity of the

design requirements for corrosion protection of structural steel. The main result of theoretical and experimental studies is the development of the computational and measurement method for assessing compliance of design requirements for SCPSS in the course of building facility operation.

Ключевые слова: коррозионная стойкость, долговечность, первичная защита, вторичная защита, расчетно-измерительный метод, оценка соответствия, металлические конструкции, предельные состояния.

Реформа системы технического регулирования в строительном комплексе Украины по правилам Европейского Союза, выход на международные стандарты в области обеспечения качества, надежности и безопасности создали благоприятные условия для адаптации национальных технических регламентов и гармонизации строительных норм и правил. Вместе с этим, остаются нерешенными вопросы анализа эффективности мер противокоррозионной защиты в процессе эксплуатации, что вызвано низким уровнем коррозионного инжиниринга и менеджмента служб промышленных предприятий и ведомств. Снижение затрат на содержание конструкций зданий и сооружений требует применения экономического механизма оценки рисков, направленного на постоянное улучшение качества средств и методов защиты от коррозии [1].

Цель статьи – обоснование методов контроля качества систем противокоррозионной защиты конструкций (СПЗК) при оценке ремонтпригодности с учетом уровня коррозионной опасности строительных объектов.

В период 70-х – 90-х годов государственное регулирование производилось антикоррозионными службами, в компетенцию которых входил учет коррозионных потерь и затрат на противокоррозионную защиту. Регламентные требования поддержания качества и долговечности при эксплуатации конструкций определялись указаниями и рекомендациями, основанными на типовой методике по учету потерь от коррозии металла и затрат на противокоррозионную защиту [2].

Современные требования защиты от коррозии строительных металлоконструкций согласно нормам ДСТУ Б В.2.6-193 [3] устанавливают условия оценки коррозионной опасности на основе задания сроков службы первичной и вторичной защиты. В соответствии со стандартом EN ISO 12944-5 [4] определен срок службы (стойкость) защитных покрытий для трех классов стойкости: низкого (L) – от 2 до 5 лет, среднего (M) – от 5 до 15 лет и высокого (H) – свыше 15 лет. При определении срока эксплуатации защитных покрытий принято считать, что заданный технический параметр не является гарантией долговечности, а используется для обеспечения нормальной эксплуатации конструкций с учетом требований технического обслуживания или ремонта.

На основе представленного анализа нормативных положений становится очевидным тот факт, что требования к обеспечению срока службы конструкций и их защитных покрытий должны быть основаны на регламентной процедуре расчетно-измерительного контроля показателей долговечности и ремонтпригодности конструкций на стадиях проектирования, изготовления и в процессе эксплуатации.

Определяющие параметры коррозионной опасности конструкций и их защитных покрытий. В настоящее время имеются эффективные методы, позволяющие оценивать долговечность металлоконструкций и их защитных покрытий с учетом физико-химических особенностей коррозионного разрушения [5].

Основными задачами расчетно-измерительного подтверждения соответствия показателей долговечности СПЗК являются:

- проверка контролируемых параметров проектных решений противокоррозионной защиты, расчетных моделей и признаков предельных состояний;
- выполнение испытаний эталонных образцов, оценка физико-механических и защитных свойств покрытий по требованиям стандартов и технических условий;
- статистический анализ технических характеристик СПЗК, формирование выборок экспериментальных данных для расчета сроков службы конструкций и их защитных покрытий при заданной степени агрессивности воздействий;
- анализ соответствия показателей уровня коррозионной опасности СПЗК проектным требованиям обеспечения надежности металлоконструкций.

В соответствии с разработанной структурой описания показателей надежности проектирование первичной и вторичной защиты по признакам коррозионной опасности включает задание определительных параметров коррозионной стойкости и долговечности, требующих регламентного подтверждения в течение всего жизненного цикла конструкций. Расчетно-экспериментальная оценка коррозионной стойкости и долговечности производится для формирования базы данных СПЗК ускоренных или стендовых (далее – определительных) испытаний фрагментов конструкционных элементов (эталонных образцов) [6]. Определительные испытания позволяют получить статистические данные изменения декоративных и защитных свойств в результате физико-химической деструкции покрытий.

В результате анализа репрезентативных выборок определяющих параметров устанавливается контрольный норматив (K_p , г/м²),

соответствующий коррозионным потерям незащищенной стали С235 в момент исчерпания защитных свойств эталонных образцов покрытий. Предельное состояние (отказ) защитных свойств $A_z=0,35$ соответствует критическому значению толщины ржавчины $h_k=100$ мкм под слоем лакокрасочного покрытия. Использование критерия отказа $h_k=100$ мкм целесообразно для подтверждения сроков службы вторичной защиты, когда отсутствуют видимые разрушения лакокрасочного покрытия по обобщенному показателю A_z и происходит развитие подпленочной коррозии.

Технический критерий отказа – исчерпания защитных свойств ($A_z=0,35$) является объединенным показателем СПЗК для расчетной оценке срока службы вторичной защиты, так как учитывает коррозионное состояние поверхности стальных конструкций ($h_k=100$ мкм) при деструкции покрытия:

$$h_k = A_k / \rho = 100 \text{ мкм}, \quad (1)$$

где $h_k = 100$ мкм – толщина продуктов коррозии под слоем лакокрасочного покрытия, соответствующая критерию отказа защитных свойств; A_k – коррозионные потери эталонного образца с защитным покрытием за промежуток времени t_0 (год), определяющие проявление отказа – исчерпания защитных свойств покрытий и нарушение работоспособного состояния конструкций в результате коррозионного разрушения, г/м²; ρ – плотность продуктов коррозии, г/см³.

Расчетная оценка контрольного норматива коррозионных потерь. Сущность разработанной методики определительных испытаний на коррозионную стойкость и долговечность заключается в аналитическом описании технических характеристик коррозионных процессов, обосновании контрольного норматива (K_p) и расчетной оценке соответствия срока службы защитных покрытий проектным требованиям долговечности.

Расчет контрольного норматива K_p состоит из ряда этапов:

- по заданным параметрам проектных решений СПЗК определяется уровень контроля, определяется объем выборки – n эталонных образцов (фрагментов) конструктивных элементов;
- устанавливаются требования к определительным (ускоренным по ГОСТ 9.401 или стендовым по ГОСТ 6992) испытаниям (рис. 1);
- по результатам контроля технических характеристик (A_n , A_z) формируется выборка n значений параметров СПЗК, соответствующих измеренным m значениям за промежуток времени t_0 до наступления предельного состояния защитных свойств;

- по выборке n значений контролируемых параметров (A_z) подтверждают установленный уровень коэффициента надежности вторичной защиты γ_{zn} . В противном случае, противокоррозионная защита не соответствует установленной категории ответственности защитных покрытий. Для дальнейшего нормоконтроля необходимо изменить параметры СПЗК с целью достижения установленного уровня, либо снизить уровень коэффициента γ_{zn} в исходных данных при подтверждении соответствия;
- в случае достижения отказа защитных свойств в течение контролируемого промежутка времени t_0 норматив K_p соответствует коррозионным потерям образцов из незащищенной стали С235 в момент исчерпания защитных свойств эталонных образцов с защитными покрытиями;
- в случае, когда в течение промежутка времени t_0 защитные свойства эталонных образцов не достигают предельных состояний, выполняется аппроксимация m значений выборок технических характеристик с помощью зависимостей вида:

$$A_z = f_1(t), \quad (2)$$

$$A_n = f_2(t). \quad (3)$$



а)



б)

Рис. 1. Определительные испытания для подтверждения соответствия показателей СПЗК:

а) ускоренные испытания по ГОСТ 9.401; б) стендовые испытания по ГОСТ 6992

На основе выражения (2) определяется промежуток времени t_i , соответствующий отказу $A_z=0,35$. Коррозионные потери (A_n) незащищенной стали С235 в момент t_i исчерпания защитных свойств эталонных образцов с

защитными покрытиями (формула 3) соответствуют экстраполированному значению контрольного норматива K_p .

Соответствие данных расчетно-измерительного контроля и проектных определительных характеристик подтверждает требуемый уровень качества СПЗК по признакам коррозионной опасности.

Разработанная методика расчетно-измерительного контроля показателей коррозионной стойкости и долговечности позволяет:

- выявлять отклонения от действующих нормативных положений при защите металлоконструкций от коррозии;
- производить оценку соответствия показателей качества, конструктивной приспособленности и технологической рациональности проектных решений противокоррозионной защиты заданному уровню коррозионной опасности;
- определять требования к выбору материалов и систем защитных покрытий по квалификационным признакам ДСТУ Б В.2.6-193 (приложения К, Л);
- разрабатывать проектные решения противокоррозионной защиты по результатам экспертизы и вносить новые материалы и технологии в перечень средств и методов, рекомендованных ДСТУ Б В.2.6-193 по условиям оценки соответствия требованиям безопасности, надежности и эффективности.

Практика разработки проектных решений защиты от коррозии по признакам коррозионной опасности. В качестве примера рассмотрим требования по защите от коррозии стальных конструкций резервуара для хранения масла, г. Мариуполь.

Степень коррозионной агрессивности среды для металлических конструкций принята в соответствии с разд. 5 ДСТУ Б В.2.6-193:2013:

- *Внутренняя поверхность верхнего пояса и кровли резервуара* (паровоздушная среда): А3 – низкоагрессивная (В3 – среднеагрессивная по СНиП 2.03.11-85, С4 – высокая по ISO 12944). Коррозионная стойкость конструкций 0,05...0,08 мм/год. Характеристическое значение годовых коррозионных потерь стали 400...650 г/м².
- *Внутренняя поверхность стенки резервуара* (масло): А2 – слабоагрессивная (В2 – слабоагрессивная по СНиП 2.03.11-85, С3 – средняя по ISO 12944). Коррозионная стойкость конструкций 0,01...0,05 мм/год. Характеристическое значение годовых коррозионных потерь стали 80...400 г/м².

- *Внутренняя поверхность нижнего пояса и днища резервуара* (подтоварная вода, масло, блуждающие токи): А4 – высокоагрессивная (В3 – среднеагрессивная по СНиП 2.03.11-85, С5-1 – очень высокая по ISO 12944). Коррозионная стойкость конструкций 0,08...0,2 мм/год. Характеристическое значение годовых коррозионных потерь стали 650...1500 г/м².
- *Наружная поверхность нижнего стенки и кровли резервуара* (промышленная, морская среда): А4-М – высокоагрессивная (В3 – среднеагрессивная по СНиП 2.03.11-85, С5-М – очень высокая по ISO 12944). Коррозионная стойкость конструкций 0,08...0,2 мм/год. Характеристическое значение годовых коррозионных потерь стали 650...1500 г/м².

Требования по долговечности стальных конструкций и их защитных покрытий установлены с учетом срока службы объектов (ДБН В.1.2-14-2009, табл. 2), мер первичной и вторичной защиты (ДСТУ Б В.2.6-193, табл. К1).

Система противокоррозионной защиты стальных конструкций резервуара разработана для уровня коррозионной опасности К1 (ДСТУ Б В.2.6-193, табл. 8).

Безопасность и надежность объектов в течение установленного срока эксплуатации обеспечивается с учетом заданных категорий ответственности конструкций и их защитных покрытий:

- *Категория С3* для наружной поверхности конструкций кровли и стенки резервуара допускает снижение защитных свойств вторичной защиты.
- *Категория С4* для конструкций наружной поверхности днища и внутренней поверхности кровли, стенки и днища резервуара допускает снижение защитных свойств первичной защиты.

Проектные характеристики систем защитных покрытий по требованиям ДСТУ Б В.2.6-193, табл. 9 при степени агрессивности воздействий:

- *А2 – слабоагрессивная*: II, III-3 (80), срок службы первичной защиты $T_k \geq 25$ лет, защитного покрытия $T_z \geq 15$ лет.
- *А3 – низкоагрессивная*: IIIх-4 (110), срок службы первичной защиты $T_k \geq 25$ лет, защитного покрытия $T_z \geq 15$ лет.
- *А4 – высокоагрессивная агрессивная*: IVх-5 (150), срок службы первичной защиты $T_k \geq 25$ лет, защитного покрытия $T_z \geq 15$ лет.
- *А4-М – высокоагрессивная (морская)*: IIIх-4 (130), срок службы первичной защиты $T_k \geq 25$ лет, защитного покрытия $T_z \geq 15$ лет.

Подготовка поверхности: струйная очистка до степени Sa 2,5. Допускается при дополнительном обосновании механическая очистка до степени минимум St 2 (ISO 8501-1:2007).

Рекомендуемые системы противокоррозионной защиты:

Вариант 1. Противокоррозионная защита стальных конструкций стенки и кровли резервуара протекторным спецсоставом «ZINTEC®». Внутренняя поверхность днища – 1 слой рулонного материала "ТехноПласт" – FIBAROLL (стандартный) толщиной 1200 мкм. Наружная поверхность днища – применение гидрофобизирующего основания.

Вариант 2. Противокоррозионная защита внутренних поверхностей – 2 слоя двухкомпонентного фенолэпоксидного покрытия Интерлайн 850 с общей толщиной сухой пленки 270 мкм. Наружные поверхности резервуара – 1 слой двухкомпонентного модифицированного эпоксидного покрытия Интерсил 670 HS с толщиной сухой пленки 200 мкм, покрывной слой – акрилово-полиуретанового покрытия Интертейн 990 с толщиной сухой пленки 80 мкм. Наружная и внутренняя поверхность днища с использованием катодных станций.

Подтверждение соответствия установленных показателей долговечности стальных конструкций и их защитных покрытий – в соответствии с требованиями ДСТУ Б В.2.6-193, п. 6.

Работы по подготовке поверхности перед окраской, окрасочные и изоляционные работы производить при наличии ППР, утвержденного в установленном порядке.

Контроль качества выполнения работ по защите металлических конструкций производить в соответствии с ДСТУ Н Б.2.6.-186:2013. Оборудование, изделия и материалы, применяемые при монтаже электрохимической защиты, должны соответствовать спецификации проекта электрохимической защиты, государственным стандартам или техническим условиям и иметь соответствующие сертификаты, технические паспорта по требованиям ВБН В.2.2-58.1-94.

Требования к обеспечению безопасности и охране окружающей среды при производстве работ по защите металлических конструкций от коррозии – согласно разд. 10 ДСТУ Б В.2.6-193:2013.

Выводы

Разработанная методика основана на использовании контрольного норматива коррозионных потерь и позволяет производить подтверждение определяющих параметров коррозионной опасности по требованиям

ДСТУ Б В.2.6-193:2013 «Конструкції будівель і споруд. Захист металевих конструкцій від корозії. Вимоги до проектування».

Практическое использование расчетно-измерительного метода контроля СПЗК обеспечивает мониторинг и техническое диагностирование коррозионного состояния конструкций и их защитных покрытий в течение установленного срока службы, выбор системы технического обслуживания и ремонта с учетом уровня коррозионной опасности строительного объекта.

Литература

- [1] Булеєв І. П. Нормативно-правове забезпечення технічного стану будівельних конструкцій за рівнем корозійної небезпеки / І. П. Булеєв, О. Ф. Коновалов, В. П. Корольов // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2011. – № 3. – С. 25–29.
- [2] Антикоррозионная служба предприятий : справ. изд. / [Степанов И. А., Савельева Н. Я., Фиговский О. Л. и др.]. – М. : Metallurgia, 1987. – 240 с.
- [3] Захист металевих конструкцій від корозії. Вимоги до проектування : ДСТУ Б В.2.6-193:2013. – Офіц. вид. – К. : Мінрегіон України, 2013. – 44 с. – (Національний стандарт України).
- [4] ISO 12944-5:2007 Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 5: Protective paint systems : ISO 12944-5:2007. – Geneva : ISO, 2007. – 28 p. – (Краски и лаки. Антикоррозионная защита стальных конструкций с помощью защитных лакокрасочных систем. Часть 5. Защитные лакокрасочные системы. – (Международный стандарт).
- [5] Похмурський В. І. Наукове супроводження моніторингу протикорозійного захисту та корозійного руйнування металевих конструкцій будівель та споруд / [Похмурський В. І., Коновалов О. Ф., Корольов В. П. Риженков О. А.] // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2004. – № 5. – С. 619–624.
- [6] Королев В. П. Современные подходы к менеджменту качества противокоррозионной защиты и коррозионному контролю металлоконструкций / В. П. Королев, А. А. Рыженков, А. Н. Гибаленко // Промышленное строительство и инженерные сооружения. – 2009. – № 4. – С. 7–11.

Надійшла до редколегії 18.11.2015 р.